

モデリングとシミュレーションを導入した総合的材料科学実験の改善に関する研究

授業実践者 山田哲也

1 学年

高等学校第1学年～第3学年

2 単元名

品質管理 材料試験 (工業科)

3 単元の目標

それぞれの単元について試験法の具体的手法を知り、機器操作などを含め実際の試験を行うことのできる能力を養う。その専門的内容に関連付けられたテーマのモデリングを行いモデリングによる問題解決方法を学ぶ。シミュレーションを繰り返し、パラメータを操作することなどにより、モデリングの検証や最適化を行うことができ、広い視野で試験法全体を捉える目を養う。

4 単元構想

これまでの実験・実習では、あらかじめ設定された手順により理想とされる実験結果を求め進めていく方法であった。その基礎的方法に加え、実験・実習のなるべく多くの場面で、モデリングとシミュレーションを用いることにより、実験・実習の中で扱う事象を常にシステム思考をしながらモデリングする能力をつける内容を取り入れることにする。ここで取り扱う専門学科の学習においては、モデリングそのものの単元ではないためそれぞれの専門分野にモデリングに関連付けた例を内容に付加する形で、より発展的に行うことを考え、最適化を発展的に考えていけるようシミュレーションの検証までを行う。

ここでは、授業実践で挙げた以外の単元の教材について提案する。ここで提案するモデリングとシミュレーションは、従来行っている基礎的実験の現象そのものをモデリングまたはシミュレーションするものではない。基礎的実験の事象が現実には振舞われるときの多様な挙動について取り扱うものや、基礎的実験を行うにあたって、経験値で行っていた実験環境設定を定量的に取り扱うもの、さらに実際の基礎的実験からさらに高度な実験となり実験室での実験が困難な挙動について取り扱うものなどである。いずれもこれまで実験・実習の中でモデリングとシミュレーションは、行われていない分野での取り扱いであり、基礎的実験に関連付けられたモデリングや発展的に行うモデリングによって、実際の実験・実習が、より現実に想定される現象を対象とするようなシステム思考を行う内容となっている。

授業実践の対象科目名は「機械実習」である。この中で実験・実習が多彩な分野にわたって開講されている。年間を通して3単位で行われる。このうち材料科学に関する分野を対象とする。単元は品質管理と材料試験の2つの単元について選択した。品質管理で行うモデリングは経営的な観点から、材料試験は理工学的な観点から選択している。

4.1. 品質管理

近代的な品質管理は統計的な手法を採用し統計的品質管理(Statistical Quality Control)と呼ばれる。多くのテストピースの状態を知るため、度数分布表やヒストグラムを作成し、母集団の分布を知る。また正規分布曲線(Normal Distribution Curve)を示すとして、母平均 m 、母標準偏差 σ から $m \pm 3\sigma$ を Upper Control Limit, Under Control Limit とするなどして管理図を作成し、製品の管理を確実に行う。

実験・実習ではこの過程を学ぶが、検査の方法を体得することに目的がある。図1に示すように製品の

計測法, サンプル法, 度数分布, ヒストグラム作成・管理図作成法, 管理図による製品管理などの従来の学習内容に加えて, 製品の在庫問題を取り上げモデリングとシミュレーションを導入する。ものの流れを学習に加えることにより製品の管理を総合的に考える。

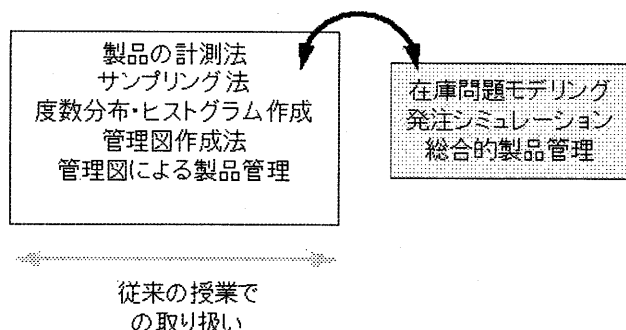


図1 品質管理へのモデリングとシミュレーションの導入

これまでの実践研究では実験・実習の教材にさらに発展的要素を加えることで工学的関心を引き出すことがあるとしている[山田 1999]。この単位では製品の検査的な品質管理を発展させ, その在庫管理に発展させるかたちである。システムダイナミクスにはパーソナルコンピュータで扱えるモデリングツール STELLA を用いてモデリングとシミュレーションを行う。

たとえば図2のパイプダイアグラムに示すように在庫問題として最適発注量や最適生産ロットの大きさを求めるなど比較的モデルの要素が複雑化しない程度で扱うことを考える。図3は確定需要の定期発注シミュレーション結果である。

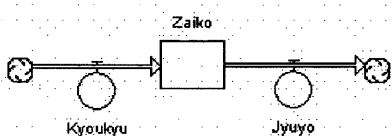


図2 在庫問題のパイプダイアグラム

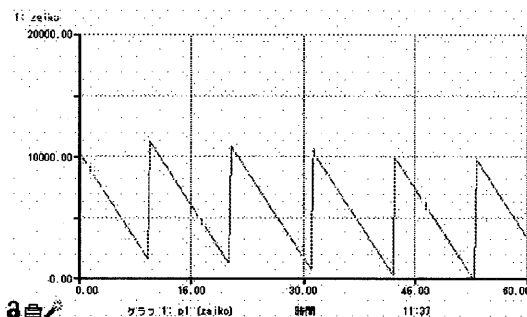


図3 確定需要の定期発注シミュレーション

今日、必要とされる技術者は一つの専門的視点からだけではなく多角的に物事を考える人材となっている。統計的品質管理は工学的なアプローチであるが、経済・経営的な視点を持つことは総合技術管理としての力量につながると考える。

4.2. 材料試験

一般に材料の強さは引張強さ(Tensile Strength)で表され, 引張試験により測定されることが多い。材料に荷重を徐々に加え, 破断するまでの荷重と伸びを測定する。

引張試験の結果から応力ひずみ線図(Stress-Strain Diagram)を得ることで, 材料の特性を知る。実験・実習では試験法を習得し, 強さと延性, 降伏点, 伸び, 絞りなどを理解するが, 実際の機械材料の使用では, 破断などの限界に達するまでの段階においてもその材料の振動などの挙動把握が不可欠である。

しかし, このような実験装置はさらに専門化し高価であるため, 通常高等学校には存在しない。図4に

引張試験片の計測・計算法
引張試験機の実作法
応力-歪み線図の作成
引張強さの判定

振動モデル作成
振動解析
シミュレーション
総合的材料選択法

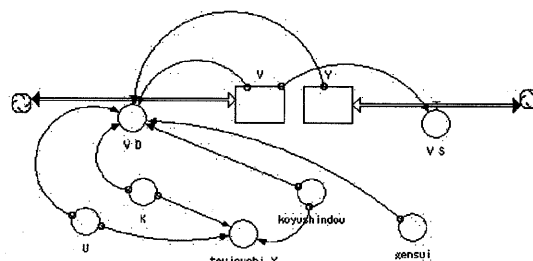
従来の授業での
取り扱い

このような振動解析は、時間経過に伴い状態が変化する動的な系ととらえることができ、入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ の関係が 2 階の線形常微分方程式であらわすことができる。

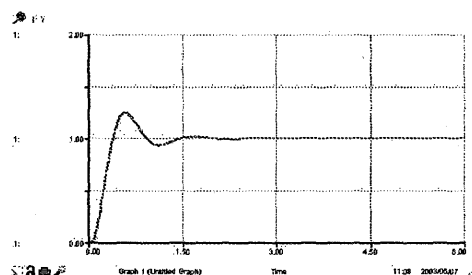
ω_n : 固有円振動数
 ζ : 減衰比

$$\dot{y} = v \quad \dot{v} = -2\zeta\omega_n v + \omega_n^2 y + Ku$$

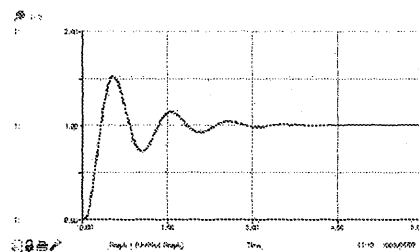
図6 (a) では、パラメータ操作を行い、最適振動を求めた場合のシミュレーション結果を示す。一般材料のパラメータでシミュレーションを行うと図6 (b) のような出力が得られる。



3



(a) 最適振動



(b) 一般材料振動

図6 パラメータ操作によるシミュレーション結果例

4.3. 専門教科における最適化の必要性

システムの設計や運転の際、静的モデルを取り扱うならば線形計画法により最適値を求めることが、基本的位置付けになる。動的モデルの最適化はその場面により、様々な最適化が考えられる。専門教科においてモデリングとシミュレーションを行うとき、シミュレーション結果をいくつか出し、その最適化を図ることが望まれる。体系化された最適化手法を用いない場合でも、パラメータ変更などにより、いくつかの代替案を示すことができる必要がある。最適化を行うことで、問題を解決する能力が養われることとなる。最適化は今日的には多くの手法が用いられるようになってきているため、深く立ち入らなくてもいくつかの最適化手法をグループ的に整理し、その方法を示すことがよい。使用頻度が高い方法や話題性のあるような方法については、その内容について発展的に学習できるよう、概要を示すことも効果的であると考えられる。

シンプレックス法に代表される線形計画法は、今日、最適化手段として不動の地位にあるが、非線形計画法 (Non-Linear Programming) は決定的方策がなく、各種の手法が多様化している。そのすべてを統一的に効率よく扱うことは困難であると考えられるため、語句として紹介される程度が妥当である。図7に示すように連立一次方程式で表され、目的関数により最適値を決める線形計画法などの基本的最適化手法は、モデリングとシミュレーションを行った場合、必ず直面する問題となり、専門教科においては必ず触れる必要がある。

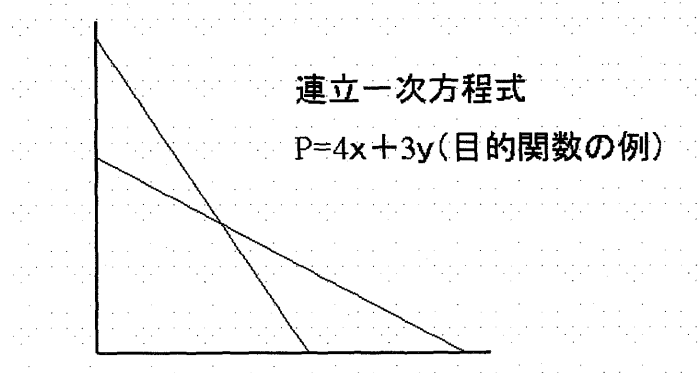


図7 線形計画法の解法例

線形計画法以外にも、様々な分野や場面において多くの種類の最適化手法が使われている。それらの分類についても、その見方によって分類方法が異なる場合があるが、教育的な取り扱いを考えた場合の分類を提案する。中心となる線形計画法を基準にして、大きくは線形計画と非線形計画に分類し、それに含まれない手法を分類することによって線形計画を中心に発展的に最適化手法を捉えていくことができる。最

最適化手法の専門家でなくとも技術者として図8に示すような分類によってその基礎知識を身に付けていることが理想である。

工業科の高校生が基本的に学ぶべき最適化手法は線形計画を中心としたものであり、それ以外に社会に広く使われ、日常生活においても耳にすることのあるような手法については、学んでおくことが望まれる。話題性のあるような方法としては、通常人間が思いつかないようなアルゴリズムとして生物の遺伝的システムを模倣するGA (Genetic Algorithm) やファジー推論は先端技術であり、先端技術として興味付けの効果を期待できる。現状でも制御分野などにおいて単体でファジー推論などを取り扱う場面もあるが、モデリングとシミュレーションに関わって最適化手法として認識することが必要である。アルゴリズムの違いにより高等学校程度で学ぶべき最低限の最適化知識として図9のような分類を提案する。

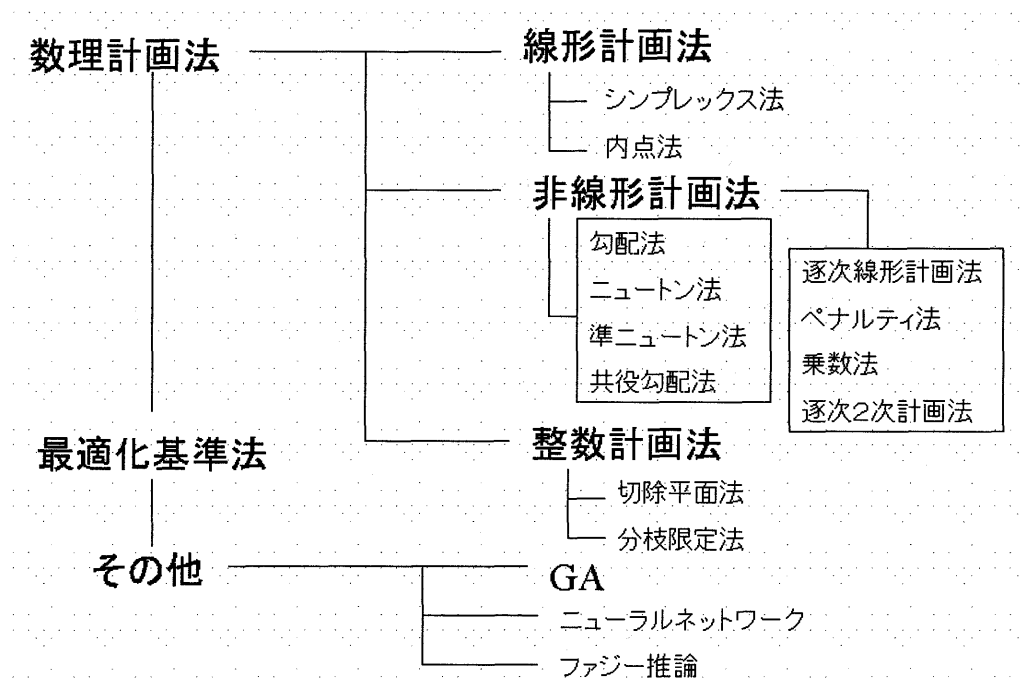


図8 今日使われている最適化手法の分類

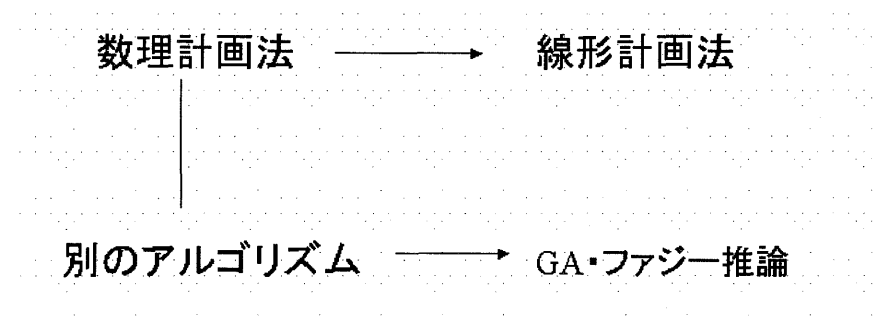


図9 高等学校工業科で学習すべき最適化知識

5 指導計画

品質管理 3 時間を 2 パート、材料試験 3 時間を 2 パート（パートは 1 つの単元の単位を示し、3 時間で 1 パートである）とする。同じ班で品質管理、材料試験を通してモデリングの学習を深める授業を計画する。

品質管理と材料試験は、科目「機械工作」の学習内容にあり、理論的な内容はそちらで学ぶが、対象の生徒は品質管理に関しては、未修得、材料試験については、一部学習を終えた状態であるため、その学習状態に応じた専門知識の解説時間を設定する。

モデリングとシミュレーションに関する基礎知識やモデリングツール STELLA の基礎について、学習時間の不足が予想されたため、事前に予備学習のためのプリントとレポート課題を配布し、予備学習の授業時間を 1 時間用意する。また、平素から対象とされる専門に関する予備レポート課題も課せられており、事前に相当の予備学習が行われる計画で進める。

対象の内容の定期考查が実施されることもあり、担当教諭と事前事後で数回打ち合わせを行う。

6 指導案

品質管理の学習指導案を表 1 に示す。

表 1 学習指導案

工業科 機械実習（材料科学分野） 学習指導案			
日時	2003 年 6 月 16 日 月曜日 第1～3校時		
場所	滋賀県立瀬田工業高等学校 計測制御実験室		
学級	1 年 B 組 第 2 班 男子 10 名		
单元名	統計的品質管理		
学習計画	モデリングの予備学習 1 時間 統計的品質管理 3 時間（本時）		
本時の目標			
<知識理解>			
近代的な品質管理の手法を学び、製品の管理を確実に行う方法とモデリングの方法を学ぶ。			
<材料の管理に対する関心>			
シミュレーションでパラメータ操作を操作することなどにより、管理に対する関心を持たせる。			
<実験の分析>			
実験を科学的に分析し、システム思考を用い問題解決を探る方法を身につける。			
本時の展開（170 分：途中休憩 20 分含む）			
時間配分	学習内容	学習活動	指導上の留意点
導入 20 分	モデリング学習の復習 統計的品質管理の概説	予備レポート内容の再確認 今日の工業製品の生産管理について各自考える	評価基準を生徒に示す。

展開 1 90 分	テストピースの計測方法と計算方法を学ぶ。 管理図の作成と見方	班ごとにテストピースの計測を行う。 データシート上の各種計算を行う。 データの整理を行う 管理図を作成する。	随時、相互評価シートの記入を促す。 ポケットコンピュータの使用関数指示
展開 2 45 分	モデリングを行う。 対象事例のインフロー、アウトフロー、ストックの理解 モデルを用いてシミュレーションを行う。 パラメータの理解	各自パイプダイアグラムの作成 パイプダイアグラムの修正 モデリングツール stella の起動 パラメータ操作を何度も行い最適化を行う。	作成の遅い生徒や作成できない生徒には段階的に用意したデータをヒントに与える。 コンピュータは2人で1台を使用 管理図作成の仕上げと並行して進行する。
まとめ 15 分	管理図の分析とモデリングの検証 レポート作成の指示と次回予告	それぞれの管理図の特徴から管理限界を知る。 システム全体の流れを読む。	自己評価シートの記入
本時に使用するモデリングツール：STELLA Research5.1.1 および 体験版			

7 実践と結果

7.1. 具体的導入方法

工業高等学校の実験・実習は、カリキュラムの編成にもよるが、3単位で編成されることが多い。多くの工業高等学校で学校全体の校時は午前4時間、午後2時間を採用せず、午前3時間、午後3時間と設定され長い時間を要する実験・実習に対応している。

学校行事などの授業時間数の変動に備え、4パート編成で4分野をローテーションするには全24週行い、あまりは予備時間としている。

導入する方法として、図10に示すようにモデリングとシミュレーションを中心とした時間を1回3時間にまとめて取る方法と各1回の授業のなかにそれを組み込む方法が考えられる。

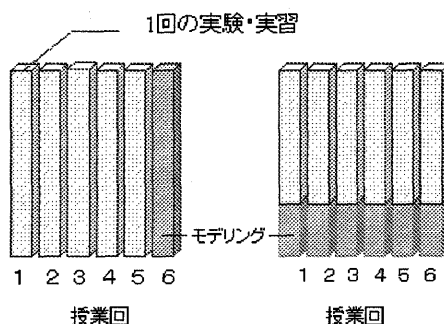


図10 モデリングを導入するにあたっての時間的配置

1回の授業は、技術の要素や方法の教育にロシアシステム（Russian System）というオペレーション法が取られている。これは中学校技術・家庭科で行われているプロジェクト法（Project Method）とは異なり、技術の要素や方法を1回1回完全に分離することにより編成する方法である。そのため、24週のうちの数週（最低4週：1パート1週）独立してモデリングとシミュレーションの時間を取るのはカリキュラムの大幅改造が必要となり適当ではない。

専門分野の専門的内容について、問題を認識し、その解決方法を探っていく場合、専門分野の基礎的実験と深くかかわらせて学ぶことが適している。実際に想定できる現象の振る舞いを様々な角度からシミュレーションすることによって、それぞれの基礎的実験における学習の意味が深まることになる。専門学科に学ぶ生徒は、専門分野の問題解決の手法を具体的に学ぶ必要があり、それぞれの専門分野でシステム思考を行うことができるようになることが、あらゆる工業の場面での論理的に解決する能力につながる。実験・実習の各回の中で、モデリングによって学習することが適した場面を設定し、それぞれの専門分野の学習内容に関連付けながら、ある程度の時間をモデリングとシミュレーションに使い展開することが適当であると判断できる。

7.2. 生徒の実態

2003年6月中旬から7月初旬にかけて、滋賀県内のS工業高等学校工業科において授業実践を行った。授業実践の対象生徒は、工業学科機械科第1学年の男子20名である。実験・実習の際には約10名ごとの班に分かれて行われるので、1班10名と2班10名を対象にしている。

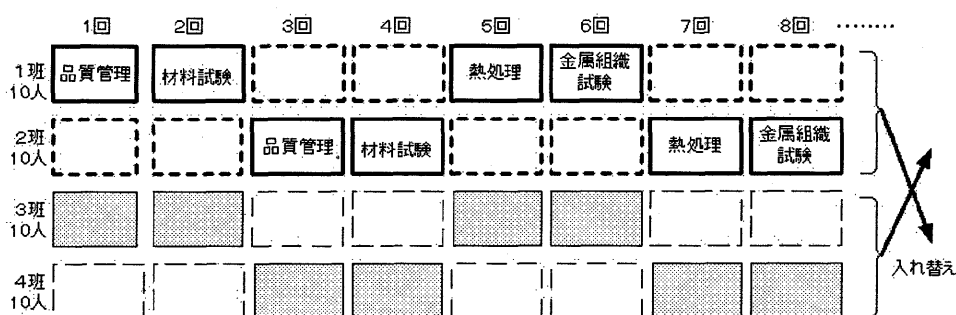


図11 実験・実習の流れ

実験・実習は、図11に示すようにローテーションを行いながら、様々な分野を回りながら授業を受ける。1回は3時間で10名対象の授業である。例えば1班は、材料科学分野の品質管理・材料試験と受けたのち、3回目・4回目は別の分野を受け、次に材料科学分野を受けるのは5回目になる。

授業の実施時期が6月中旬から7月初旬にかけてであるため、高等学校入学後数ヶ月経過している。既にいくつかの実験・実習を体験しているため、授業には慣れてきている生徒達である。ただし、座学と平行して実験・実習が進んでいるため、必ずしも座学で学んだことを実験・実習するというように進まない。多くの場合、授業と内容がリンクしていないことになる。授業前に予備学習として予備レポートを提出することになっているが、これについてはほとんどの生徒が指定された内容を提出することができ、授業に臨む意欲が認められる状態である。4月から実施された実験・実習の事後レポートを提出する期限が定められているが、6月中旬の段階にあって期限内に完成せず、これに遅れて、提出している生徒が1～2名いるという状態であった。

7.3. 実験・実習の物理的環境

授業は、それぞれの内容ごとの実験室で行われる。実験・実習に必要な機器や材料は部屋に備え付けられている。校内 LAN は必ずしも通じていないが、計測器などに併設されたデータ解析などのための数台のコンピュータがある。2人で1台のコンピュータを使用することにするため、設置されているデータ解析用のコンピュータ以外にもコンピュータを持ち込み合計5台のコンピュータをモデリング用として設置した。設置したコンピュータの性能は必要最小限のものであり、特別な周辺機器は付属していない。生徒の座席は1つの大きなテーブルを10名で囲むかたちであり、コンピュータはその背後に実験機器と並んで設置した。

実験室は、教師や生徒が1つのテーブルを囲むかたちで設置しやすい配置である。これにより、相互のデータ交換や意見交換が行いやすい環境になっている。

7.4. チェック式自己評価シートと記述式相互評価シート

自己評価においてはチェック式のように簡単に行われるものと記述的に単元のまとめなどに行われるものなどに分け効率的に進めることを考える。山岸(2003)によりチェック式自己評価についてはレーダーチャートを利用する方法が提案されている。ここではさらにこれを発展させる。教師の負担も考慮し、いくつかの単元で使用できるように汎用化にも努める。このような短時間で該当時間の学習内容を振り返る評価法として図12に示すように生徒に基準を示すチェック式自己評価シートを提案する。単元の構成によっては、「本時はこの観点の評価」というように表を横に分割して時間ごとに評価を行い、これを合成すると最終的に単元のまとめとして、図12のような形になる。

自己評価シート		年 組 番				
関心・意欲・態度	関心の有無	<input type="checkbox"/> 授業の内容を 完全に理解で きた	<input type="checkbox"/> 授業の内容を ほぼ理解で きた	<input type="checkbox"/> 授業の内容を 理解できたが、 不十分なもの もある	<input type="checkbox"/> 授業の内容を あまり理解で きなかった	<input type="checkbox"/> 授業の内容を まったく理解 できなかった
	態度	<input type="checkbox"/> 大まかなこと を授業中に 積極的に質問 した	<input type="checkbox"/> 大まかなこと を授業中に 積極的に質問 した	<input type="checkbox"/> 大まかなこと を授業中に 積極的に質問 した	<input type="checkbox"/> 大まかなこと を授業中に 積極的に質問 した	<input type="checkbox"/> 大まかなこと を授業中に 積極的に質問 した
思考・判断	アイディア創出	<input type="checkbox"/> 工夫をこら して問題を解 くことに努 めた	<input type="checkbox"/> 工夫をこら して問題を解 くことに努 めた	<input type="checkbox"/> 工夫をこら して問題を解 くことに努 めた	<input type="checkbox"/> 工夫をこら して問題を解 くことに努 めた	<input type="checkbox"/> 工夫をこら して問題を解 くことに努 めた
	分析力	<input type="checkbox"/> 実験の結果 をよく考察で きた	<input type="checkbox"/> 実験の結果 をよく考察で きた	<input type="checkbox"/> 実験の結果 をよく考察で きた	<input type="checkbox"/> 実験の結果 をよく考察で きた	<input type="checkbox"/> 実験の結果 をよく考察で きた
活用・表現	実践力	<input type="checkbox"/> すべての能 力を使って こなすこと ができた	<input type="checkbox"/> すべての能 力を使って こなすこと ができた	<input type="checkbox"/> すべての能 力を使って こなすこと ができた	<input type="checkbox"/> すべての能 力を使って こなすこと ができた	<input type="checkbox"/> すべての能 力を使って こなすこと ができた
	発表力	<input type="checkbox"/> 他人にわか りやすいよう にレポートを 作成した	<input type="checkbox"/> 他人にわか りやすいよう にレポートを 作成した	<input type="checkbox"/> 他人にわか りやすいよう にレポートを 作成した	<input type="checkbox"/> 他人にわか りやすいよう にレポートを 作成した	<input type="checkbox"/> 他人にわか りやすいよう にレポートを 作成した
知識・技能	基礎知識	<input type="checkbox"/> 基礎的な知識 (法、原理、理 論など)を習 得した	<input type="checkbox"/> 基礎的な知識 (法、原理、理 論など)を習 得した	<input type="checkbox"/> 基礎的な知識 (法、原理、理 論など)を習 得した	<input type="checkbox"/> 基礎的な知識 (法、原理、理 論など)を習 得した	<input type="checkbox"/> 基礎的な知識 (法、原理、理 論など)を習 得した
	応用知識	<input type="checkbox"/> 新しい知識 を習得するこ とができた	<input type="checkbox"/> 新しい知識 を習得するこ とができた	<input type="checkbox"/> 新しい知識 を習得するこ とができた	<input type="checkbox"/> 新しい知識 を習得するこ とができた	<input type="checkbox"/> 新しい知識 を習得するこ とができた

※このシートは、授業中や授業後の振り返りシートとして活用してください。授業中の振り返りシートは、授業中に記入してください。授業後の振り返りシートは、授業後に記入してください。

図12 チェック式自己評価シート

このシートのデザインはルーブリックとして表の中に観点別評価基準が5段階で示され、同時にその欄内にチェックできるよう工夫されている。さらにチェックを赤線でつなぎ自分の評価を一目で確認できるよう図的表示ができるようになっている。これは、レーダーチャートの視認性の良さを踏襲しつつ、生徒がそれぞれの基準を確認しながら評価を行えることを狙ったものである。項目や数値のみが表示された基準表では、別紙に示されることになる基準の内容をあまり読まず、よく確認しないうちに安易にチェックを入れる傾向があると考えられるからである。

チェック式シートは場合によっては単元の内容に応じて観点別に分割して用意され、単元のまとめとして図13に示す相互評価シートを加味した記述式とあわせ一枚のシートに統合される。長期のコースワークにおいては、数時間、短期のコースワークにおいては1時間でこのシート1枚が作成される。この流れを図14に示す。自己評価シートは授業開始時に評価基準を確認しながら生徒に示され、終了時に短時間で記入する。

また相互評価シートは、図や文章が自由に記入できるよう、罫線がない自由度の高い記述式のシートを用いる。生徒が授業中随時、どの対象（個人、グループ）に何枚でも記入できるよう1人複数枚を用意する。記入に際し、評価対象者と自分の名前を書くようになっている。相互評価シートは、記入後全員が情報を共有できるようにする。

図13 記述式相互評価シート

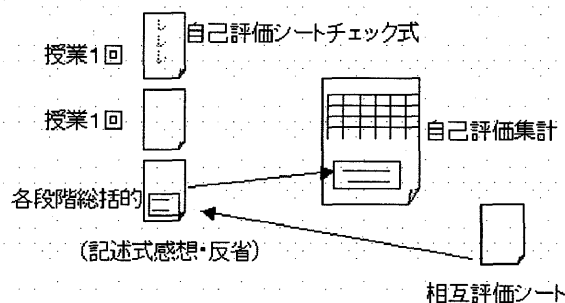


図14 自己評価チェックシートの流れ

8. 結果と考察

工業科の実験・実習は、普通教科の授業に比べ、授業時間の使い方や工業の専門的な分野を扱うという学習内容の違いにより授業の形態が大きく異なる。ここでの分析は、そのような特徴に鑑みて、追加される学習内容による生徒の認識の変容、システム思考、さらに改善の一環としての評価システムについて分析する。

8.1. 認識の変容

事前のアンケートにおいて、16名がモデリングという言葉を知ることがないと答えていたが、事後には図15に示すように、「モデリングとシミュレーションは実験・実習の学習に有効であると思いますか。」の問いに18名が「思う」・「少し思う」とした。

さらに事後アンケートにおいて14名の生徒が積極的に取り組めたと答えた。モデリングに初めて接した生徒も、今日までの実験・実習より現実的な現象としてモデリングとシミュレーションを行ったため、

モデリングとシミュレーションの必要性を認識したことがわかる。

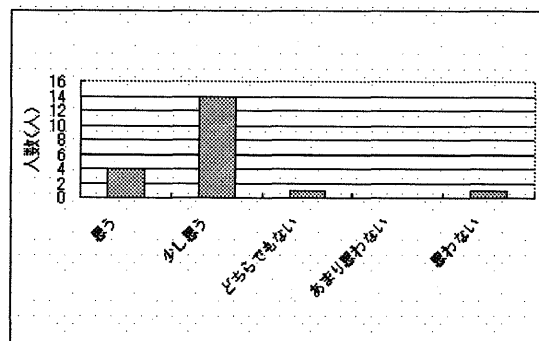


図15 実験・実習に対する有効性認識

また、事前のアンケートにおいて図16に示すように「学習している実験・実習のデータは、工場などの現場でも通用すると思いますか。」の問いに、あまり通用すると思わない生徒が7名と多かった。実験・実習は、決まったデータを目指して学習することが多く、未知のデータを扱い、様々な応用が必要と思われる実際の現場において「果たして通用するのだろうか。」という不安が生徒にはある。

これに対し、事後のアンケートで「モデリングとシミュレーションは工場などの現場でも通用すると思いますか。」の問いに15名が「思う」・「少し思う」とした。このことから、モデリングとシミュレーションの導入は多くの生徒に好意的に受け入れられ、その必要性も感じるようになってきていることがわかる。

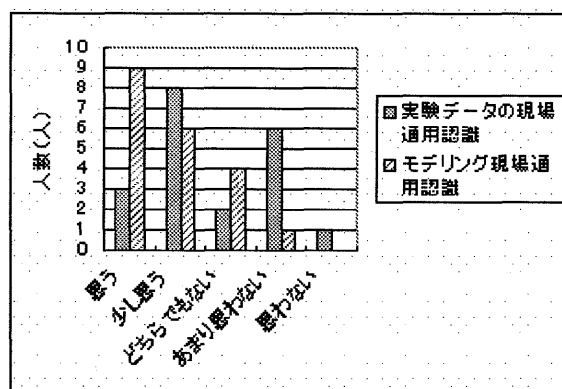


図16 学習している実験データとモデリングとシミュレーションの現場で通用度の認識

8.2. システム思考による問題解決

モデリングを行うときには、要素を抽出することと同時にそれぞれに関係しあう要素とその関係を包括して全体を見ることが重要である。図17に示すように、事象をシステムと捉えて全体を見据えている生徒2名いた。

- ・実習は数値だけを扱うより、モデリングとシミュレーションを使って全体を見るほうがわかりやすい。
- ・グラフや表を作ることは、全体が見えてわかりやすい。

図17 生徒の感想 1

また、それぞれのパラメータの意味を確認するために質問した生徒は20人中5名いた。パラメータとな

るフロー（変化量）やコンバータ（補助変数）を1つずつコンピュータ上に置き、パイプダイアグラムを完成させることは、システムを一目で確認することになる。パイプダイアグラムは、システムとして事象を捉えなければ作成が難しく、システム思考の方向を向いていることがわかる。

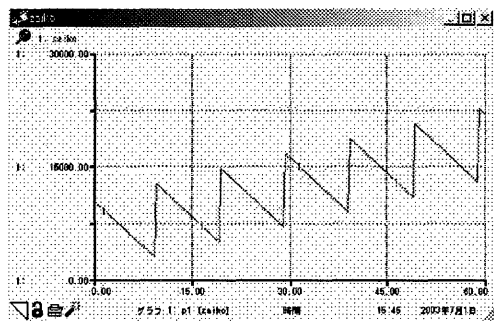
図18はモデリングとシミュレーションの導入全体を通しての生徒2人の感想である。従来の実験・実習では、テストピースが用意されるなど、ある程度決まった答があり、それを確認することが多かった。これらの感想は、未知の問題について取り組んでいく姿勢の現れと言える。理科などの教科よりさらに産業現場に近い工業科の実験・実習においては、このような姿勢が必要であり、決まった実験・実習手順をたどる方法に加え、自分で問題を認識し、解決を探る学習が必要である。

・コンピュータを使ってモデリングとシミュレーションをしているとき、製図がうまく書けたり、慣れればできることはあまり意味がないことだなと思いました。

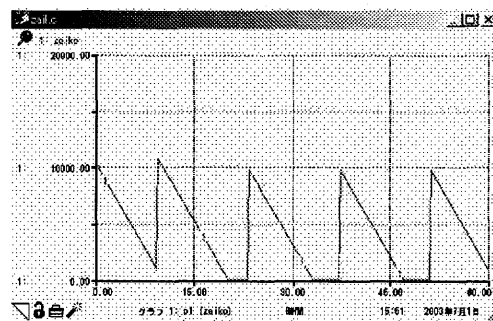
・理想のシミュレーション結果は得られない。それがいい勉強になった。

図18 生徒の感想2

図19は品質管理の在庫についての生徒のシミュレーション結果例である。定期発注シミュレーションについて解決を試みている。(a)の結果では在庫増加の傾向が顕著に表れている。他の多くの生徒も同様の傾向を示していた。しかしそのグラフはそれぞれ特徴が異なり、失敗の要因が異なる。このような他人の失敗パラメータを参考にしながら最適化していく様子が見られた。その後、在庫状態は不良ながらも(b)に見られる調整に成功している。回を重ねるごとに何が現象の本質に関与しているのかを把握すること、すなわち本質の抽出が的確に行われるようになっていった。この様子はシステムの要素を抽出でき、組み立てられなければ、自分が思うようなシミュレーション結果が得られないことから、生徒のシステム思考の様子と最適化を行う様子をうかがうことができる。



(a) 在庫増加の傾向



(b) 在庫ゼロの例

図19 シミュレーションによる解決例

理工系の内容でのモデリングでは随所でパラメータや関数の決定に数学的な知識や専門的な知識が必要である。しかし、そこでわかりやすい教材を用意し、サポートすることでシステム思考を伴うモデリングの学習が可能になる。様々な場面でシステム思考ができるよう教材も用意される必要がある。

生産プロセスでは具体的には図20の破線で示す場面において問題解決的な場面が発生し、モデリングとシミュレーションが必要となりやすい。様々なコンピュータ援用システムを統合しながら解決する姿勢が求められる。

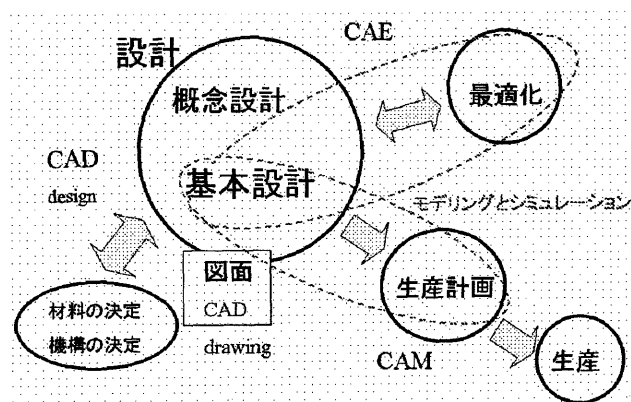


図20 生産プロセスにおけるモデリングとシミュレーション

8.3. 学習機能としての評価

この実践授業前後にチェック式自己評価シートで評価することが有効であるかどうかを生徒に質問したところ、チェック式自己評価シートで評価を行うことが有効と答えた生徒数は、実際にその評価を行った後に20人中18人と多くなった。自己の学習を管理することの大切さに気づいている。

- ・授業では～君がよく知っていて頭がよさそうに見えた。
- ・1班は能率よくテキパキとしていた。計算がものすごく速いから、スムーズに進んでいった。
- ・自分や他人を評価したから、自分がどれだけ1人でできないか理解することになった。

図21 相互評価シートの内容

相互評価シートには他者を評価したものとして図21のように、他人の行動に注視し、認識している文章が見つけられる。

このことから、相互評価シートを使用することにより、他人と交流しながら学習する態度が生まれ、また他人の行動特性を取り入れながら自己のスキルやコンピテンシを考察させる効果があることがわかった。実験・実習においては自己のスキルやコンピテンシを向上させるために、より優れた力を持つ生徒に関心を向けうまく取り入れようとする傾向があることがわかった。

前述のように、チェック式の自己評価シートは多くの生徒が評価しやすいと答えたが、一部に図22のようなチェック式シートの不足を指摘する感想が見られた。

- ・チェックシートでは自分の伝えたいことが伝わらないのでちょっと残念。

図22 自己評価シート感想

この感想を書いた生徒は学習意欲が高く、記述式評価の内容も他の生徒に比べ高度で、専門的内容についての理解を自己評価したい欲求にかられた。チェック式自己評価シートは多くの単元での汎用化を考え、作成されたものであったためと考えることができる。すべてのチェックシートの汎用化は教師の負担を軽減できるが、一方では学習内容の細部まで踏み込んだ評価は難しいという点で問題がある。単元ごとの評価基準をそれぞれに定める必要性があることがわかる。

8.4. コンピテンシ評価

理想となる優れた行動特性を取り入れることは、各自のコンピテンシを向上させることにつながると考えられ企業でも注目されている。

評価の詳細観点でのレベル5に近い生徒の存在は少ない。多く見られるのは、いずれかの観点に高い評価がある場合である。1人ですべての観点到に優れることは、稀であるが、ひとつの観点到に優れる生徒は多い。このような類型は生徒が自分の能力の把握を表現したものであり、自己の自信にもなっている。ここでそれぞれの評価観点到ごとにレベル5である状態をその観点的コンピテンシモデルと呼ぶことにする。

生徒がどのような能力に優れ、どのような分野を補えばよいかは自己評価シートなどにより分析でき、その結果を以下に述べる。コンピテンシモデルに近づくよう教師が助けながら目標を設定することで、学習意欲や、学習の効率をあげることができる。

モデリングとシミュレーションを導入した授業実践を行った中で、生徒の行動特性に着目する。相互評価シートを用い、他人の行動を評価することにより、他人の行動特性を自己に取り入れようとする記述がいくつか見られる。これは共同で作業を行っている場合の生徒間に見られた。

共同で作業を行っているグループのうち、授業者が見て、機器操作能力に優れている生徒Aのグループに着目する。生徒Aの自己評価シートと生徒Aと共に作業した生徒Bの自己評価シートを図2.3に示す。生徒Aは、全般的に多くの観点到において自己評価が高いが、特に点A1の機器操作を積極的にこなし、実践力にはレベル5をつけている。第2次においてもこれは持続されている。この観点到について生徒Bは生徒Aに引きずられる形で点B1から点B2の上昇を見せている。この他にも同様に点A2に対して点B2の上昇が見られる。一方で生徒Bは点B4の資源活用に低い評価が見られ、第1次に比べ下降しているが、生徒Aの第1次の評価も高くはなかった。

山岸ら(2003)はチェック式シートを用い、自己評価を行うと授業が1時間目、2時間目、と進むにつれて評価が上昇する傾向があると言っている。多くの生徒でその現象は見られるが、その上昇の中には、ある観点的コンピテンシモデルが作用した部分が存在する。

ある観点的コンピテンシモデルとなる生徒の高いレベルの観点到に引きずられる形で、他の生徒の観点到が上昇する傾向が見られた。ところが高いレベルの観点点を持つ生徒の評価の中で低いレベルがついている別の観点点は、その影響を他人に与えないことがわかった。

生徒に合った特定の観点的コンピテンシモデルにより目標設定が行われると、補うべきコンピテンシが補完できるようになる。教師は評価をよく見極め、それぞれの観点的コンピテンシモデルとなる存在がうまく作用するようグループ編成などにおいても配慮することも有効と考えられる。

関心・ 意欲・ 態度	問題の 認識	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	態度	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
思考・ 判断	アイデア の創造	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	分析力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
技術・ 表現	実技力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	報告力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
知識・ 理解	応用活 用	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	専門知 識	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる

関心・ 意欲・ 態度	問題の 認識	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	態度	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
思考・ 判断	アイデア の創造	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	分析力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
技術・ 表現	実技力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	報告力	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
知識・ 理解	応用活 用	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる
	専門知 識	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる	自分の考えを 表現できる

図2.3 生徒A（上）、生徒B（下）の自己評価シート（左：第1次 右：第2次）

8.5. コースワークの評価システム

評価システムの時間的負担について検証した結果、2回目以降の授業ではそれが大幅に短縮できることが確認できた。自己評価シートを記入する時間も数分で記入できることから、生徒や教師に時間的負担をかけないことが明らかになった。相互評価シートは各自の手が空いた時間に記入するように指示しているため、これも授業の流れをさえぎるような場面は見られなかった。

モデリングとシミュレーションを導入した実験・実習の評価として、ペーパーテストや成果物の評価だけで終わらない評価を実施するために、総合的な評価として次のような評価を提案する。観点別に示された自己評価シート・相互評価シートは統合され単元の終わりに集計された自己評価シートとなる。教師用にも同じシートを用い1つのコースワークの単元で統合される。教師が学期末になどに行う学習成績としての評定では、生徒の自己評価シートを含みながら教師用シートをもとにした評価を行う。ペーパーテストが実施される場合はそれにより評価が補充され、それぞれの観点に評価が加味される。

9. まとめ

システムとして現象を捉え、ストックやフローなどを設定する学習を繰り返すことでシステムの事象

をとらえることができるように工夫した授業改善を行った。作成したモデルが正しいかどうかの検証まで行うことを一連の流れとした結果、これまでの実験・実習をベースに問題解決を科学的に行う学習が展開でき、より発展的に学習できることがわかった。この改善によって従来の知識注入型から課題を解決する実験・実習となり、事象をシステムとして捉えることができるようになった。最適化を行う場面を設けることによって、より近代的な工学に結びつく改善が可能となる。

また評価については、自己評価・相互評価シートを利用することで生徒は自他のコンピテンシを認識しより良い方向を探す傾向が見られた。また、チェックシートなどを用いることで生徒自身や教師が無理なく効果的な評価をすることができた。生徒は自分の学習の達成状況を確認する行為を簡単に行うことができ、教師はその評価を指導と一体化して行うことが容易となる。チェックシートやその汎用化についての問題点が出るなどさらなる検討が必要であるが、従来の教材や授業と結びつくようなかたちで改善できた。評価の具体的方法についても新しい評価方法を組み込むことができた。

以上のことから、得られた成果をあげる。

- ①工業専門分野に、専門分野に関連付けられたモデリングとシミュレーションを導入する学習をすることによりシステム思考の力がつき、産業現場での問題解決に有効である。
- ②モデリングとシミュレーションの予備知識が少なくても、時間内の学習において、STELLAなどのモデリングツールを使用すれば、専門的内容と結びつけながら学習していくことができる。
- ③専門分野のモデリングとシミュレーションでは、最適化することが、産業現場での現象の振る舞いを解決することに結びつく。
- ④モデリングとシミュレーションを用い、問題解決する学習を行うには自己評価・相互評価を取り入れた総合的な評価方法を取ることが効果的である。
- ⑤自己評価は観点別チェックシートによりフィードバックされること、相互評価により他人の行動特性を取り入れることが重要である。これにより、学習の向上が見られる。

今後は、よりシステム思考ができる生徒を育てるために、モデリングが必要になるような専門的学習内容を見きわめ、専門科目の多くの場面で専門的内容に対応できる教材を開発することが必要であり、実践をとおした授業改善をさらに進めることが望まれる。